

## ⑫ 公開特許公報 (A)

昭57—196015

⑤Int. Cl.<sup>3</sup>  
F 23 N 5/00

識別記号

庁内整理番号  
7411—3K④公開 昭和57年(1982)12月1日  
発明の数 1  
審査請求 未請求

(全 7 頁)

## ⑤4 ボイラの燃焼状態監視制御方法

団法人電力中央研究所エネルギ  
ー環境技術研究所内

①特 願 昭56—80932

⑦発 明 者 瀬間徹

②出 願 昭56(1981)5月29日

柏江市岩戸北2丁目11番1号財  
団法人電力中央研究所エネルギ  
ー環境技術研究所内

⑦発 明 者 藤本健悦

⑦発 明 者 栗原伸夫

調布市西つつじヶ丘2—4—1  
東京電力株式会社技術開発研究  
所内日立市幸町3丁目1番1号株式  
会社日立製作所日立研究所内

⑦発 明 者 望月国春

⑦出 願 人 東京電力株式会社

調布市西つつじヶ丘2—4—1  
東京電力株式会社技術開発研究  
所内東京都千代田区内幸町1丁目1  
番3号

⑦発 明 者 鈴木治朗

⑦代 理 人 弁理士 高橋明夫

柏江市岩戸北2丁目11番1号財

最終頁に続く

## 明 細 書

発明の名称 ボイラの燃焼状態監視制御方法  
特許請求の範囲

1. 蒸気を発生するボイラの燃焼過程で生成される排ガスの組成成分を監視制御する方法において、  
該ボイラ火炉内への排ガス注入量を調整する複数個のダンパ各々の排ガス注入量に関する信号を入力とし、

該入力された信号と該排ガスの組成成分との関係を示す演算モデルにより該入力された信号における排ガス組成成分を演算し、

該演算された排ガス組成成分が規制値を満足するように該複数個のダンパ開度を調整することを特徴とするボイラの燃焼状態監視制御方法。

2. 前記特許請求の範囲第1項記載において該演算モデルは少なくとも当該ダンパ操作量を含む状態量を独立変数とし、NO<sub>x</sub>濃度、CO濃度、ばいじん濃度、スプレー水量のそれぞれを従属変数とする回帰分析モデルを用いることを特徴とするボイラの燃焼状態監視制御方法。

3. 前記特許請求の範囲第2項記載において、該排ガス組成成分のうちNO<sub>x</sub>成分を目標値に保つための該複数個のダンパ各々の排ガス注入量に関する信号を該演算モデルにより演算し、

該演算された信号に基づいて該ダンパ開度を調整しNO<sub>x</sub>目標値を保つことを特徴とするボイラの燃焼状態監視制御方法。

4. 前記特許請求の範囲第3項記載において、少なくともCO濃度、ばいじん濃度があらかじめ定められた制限値を満足するように該複数個のダンパの開度を制御することを特徴とするボイラの燃焼状態監視制御方法。

5. 前記特許請求の範囲第3項において、該NO<sub>x</sub>成分が目標値に保つためのダンパ開度を用いて少なくともCO濃度、ばいじん濃度を予測すること、を特徴とするボイラの燃焼状態監視制御方法。

6. 前記特許請求の範囲第1項記載の排ガス注入量に関する信号を求めるステップにおいて、当該ダンパの操作量とボイラの蒸気温度があらかじめ定められた制限値を満たすスプレー水量との関係

を表わすモデルにより該スプレー水量を予測することを特徴とするボイラの燃焼状態監視制御方法。発明の詳細な説明

本発明は、火力発電プラント等におけるボイラの燃焼制御方法に係わり、特に環境規制による $\text{NO}_x$ 低減運転を行なうに好適な制御方法に関する。

電力事情の緊迫した夏期での高負荷運転時に於いて、光化学スモッグが発生したような緊急を要する場合の火力発電用ボイラの運転対応には、微妙な調整を伴い、むずかしいものがある。

このような環境上の運転規制に対してはプラントの経済的運用を第二義として、排ガス循環量の増加、低窒素燃料のブレンド比率の変更あるいはさらに気象条件が厳しいときには発電出力を抑制することもある。これらの環境規制に対する運転対応のうち、特に排ガス循環量を調節は必ず試行されるから調節頻度が高い。この調節は、単に $\text{NO}_x$ 濃度を低減するだけでなく、 $\text{CO}$ 濃度やばいじん濃度といった他の環境因子を抑制し、さら

には蒸気温度の上昇を防ぐなど安全性への配慮が必要である。そのための各種操作パラメータの適切な配分を決定するには高度な技術が要請される。従来、この排ガス循環量の調節は熟練した運転員に委ねられているが、30分あるいはそれ以上の遅れを伴うのが実情である。また、複雑な調節作業は運転員の負担となつてきていることも事実である。

本発明の目的は上記した従来技術の欠点を解消すべく、排ガス循環系の操作因子と排煙性状及び蒸気温度の制御特性との相関関係を効果的に利用することにより、光化学スモッグ発令時の運転対応を自動的に決定する制御方法を提供し、操作の迅速化、簡略化、的確性を図ることにあります。

混合ガス系ダンパの調整により $\text{NO}_x$ 濃度などの排ガス組成を制御する場合、実際のボイラでは、燃焼プロセスの動揺、発電出力あるいはボイラ出力制御系の調整具合などによつて各ダンパの最適な操作量は変動する。本発明の特徴は、発電出力を一定に保つた状態での燃焼性状及びボイラの出

力制御特性（多少のバラツキがあるとしても平均的には再現性のある定値を示すこと）を実運転中のボイラにおける試験で確認し、混合ガス系ダンパの操作量と排ガス組成との関係を統計的な数学モデルで実測値データにもとづいて把握し、この数学モデルを利用しや要請された排ガス組成を得るための混合ガス系ダンパの操作量を定め、ダンパ制御をおこなうことにある。

以下本発明の具体的な実施例について述べる。

第1図は本発明になる燃焼制御装置18を使用した一実施例を示す。ボイラ1はボイラ自動制御装置17により、空気量101、燃料量102、飽和蒸気量103を調節して中給負荷指令201に応じた主蒸気量105、再熱蒸気量106をタービン側へ出力する。この時、ボイラ自動制御装置17はボイラ排ガスを再循環ガスファン7、再循環ガスファン8で調節して炉内のガス流速を変え、過熱器5と再熱器6における熱吸収量を制御するとともに再熱スプレー調整弁16、主蒸気スプレー調整弁15で減温器13、14におけるス

プレー水量107、108を調節して蒸気温度205を制御する。なお第1図において、2は強制押込ファン、3は空気ダンパ、4は燃料調整弁、9は混合ガスファン、10は混合ガスダンパ、11は一次ガスダンパ、12は混合ガス調整ダンパ、20は混合ガス調整器、104はタービン出口蒸気を示している。

本発明になる燃焼制御装置18は、燃焼状態予測器19と混合ガス調整器20から構成される。燃焼状態予測器19は、発電出力204、蒸気温度205、混合ガス系ダンパ開度信号206、排ガス組成信号（ガスO<sub>2</sub>信号207、 $\text{NO}_x$ 濃度信号208、 $\text{CO}$ 濃度信号209、OP濃度信号210）をそれぞれ入力して、排ガス組成と各状態量との関係を示す統計的数学モデルを作成する。ここで、OPはばいじん（Opacity）を表わす。混合ガス調整器20は、 $\text{NO}_x$ 低減指令信号213、発電出力204、ガスO<sub>2</sub>信号207を入力し、上記の燃焼状態予測器19で作成された数学モデルを用いて計算し、 $\text{NO}_x$ 濃度を目標値にまで低

減する混合ガス系ダンパ操作指示信号212と蒸気温度を規定値に保つに必要なスプレー弁調整信号211を出力する。

なお108は主蒸気スプレー水を、213はNOx低減指令信号を、214は再循環ガスダンパ調整信号を、202は燃料量調整信号を、203は空気調整ダンパ信号を示す。

第2図は本発明になる燃焼制御装置18における燃焼状態予測器19の一実施例のフロー図を示す。第2図における演算フローは、マニュアルによる動作要求を受けた後に、一定周期で演算動作を行ない、回帰分析による数学モデルの作成を完成するまで継続する。演算動作の内容は以下に述べる通りである。負荷整定判定ステップ401では発電出力信号 $x_{1,0}$ を入力し、(1)で変化率 $\dot{x}_s$ を計算し、(2)、(3)式に従つて負荷が変動中であるか整定しているかを判定する。

$$\dot{x}_s = \frac{6}{M(M^2-1)T_s} \sum_{i=0}^{M-1} (M-1+2i) x_{M-1-i}, \quad \dots(1)$$

$$\dot{x}_s \geq \dot{x}_L : \text{負荷変動中} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$x_{1,0} = MW \text{ (発電出力)}$$

$$x_{1,1} = O_2 \text{ (ガス} O_2 \text{)}$$

$$x_{1,2} = GRD^2$$

$$x_{1,3} = GMFD^2$$

$$x_{1,4} = PGD^2$$

$$x_{1,5} = GMD^2$$

$$x_{1,6} = 1/MW$$

$$x_{1,7} = 1/O_2$$

$$x_{1,8} = GRD \times GMFD$$

$$x_{1,9} = GRD \times PGD$$

$$x_{1,10} = GRD \times GMD$$

$$x_{1,11} = GMFD \times PGD$$

$$x_{1,12} = GMFD \times GMD$$

$$x_{1,13} = PGD \times GMD$$

.....(6)

$$y_{1,1} = NOx \text{ 濃度}$$

$$y_{1,2} = CO \text{ 濃度}$$

$$y_{1,3} = OP \text{ 濃度} \quad \dots(7)$$

$$y_{1,4} = \text{過熱器スプレー水量}$$

$$y_{1,5} = \text{再熱器スプレー水量}$$

$$\dot{x}_s < \dot{x}_L : \text{負荷整定中} \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここで、Mはデータ個数、 $i = 0, 1, 2, \dots, M-1$ 、nは現在値を示すサフィックスである。

$x_L$ は整定時の負荷変動幅を考慮してあらかじめ定められた閾値を示している。

データ入力ステップ402では下記データを独立変数X及び従属変数Yに分けて入力する。

$$X = \begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \dots & x_{1,p} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \dots & x_{2,p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{M,1} & x_{M,2} & \dots & x_{M,p} \end{bmatrix} \quad \dots\dots(4)$$

$$Y = \begin{bmatrix} y_{1,1} & y_{1,2} & \dots & y_{1,q} \\ y_{2,1} & y_{2,2} & \dots & y_{2,q} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{M,1} & y_{M,2} & \dots & y_{M,q} \end{bmatrix} \quad \dots\dots(5)$$

ここで、 $x_{1,1} = GRD$  (再循環ガスダンパ開度)

$x_{1,2} = GMFD$  (混合ガスダンパ開度)

$x_{1,3} = PGD$  (1次ガスダンパ開度)

$x_{1,4} = GMD$  (混合ガス調整ダンパ開度)

積和平方和マトリクスステップ403では(8)式で示す独立変数Xとその転置マトリクス $X^T$ の積を計算する。

$$S = X^T \cdot X \quad \dots\dots\dots(8)$$

全データ収録判定ステップ404ではデータの入力回数がm回となつたら収録を終了する。次に回帰分析ステップ405であるが、はじめに回帰分析の原理について簡単に説明する。線形回帰モデルが(1)式で与えられるものとする。

$$y = X \cdot \beta + e \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$\text{ここで } y = [y_{1,1}, y_{1,2}, \dots, y_{1,q}]^T \quad \dots\dots(10)$$

未知母数ベクトル $\beta$ は(1)式とする。

$$\beta = [\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p]^T \quad \dots\dots(11)$$

また、ランダムノイズベクトルは(12)式とする。

$$e = [e_1, e_2, \dots, e_q]^T \quad \dots\dots(12)$$

なお、 $E[e] = 0$ 、 $C[e] = \sigma^2 I$ 。

$I$ はm字の単位マトリクス。

Gauss-Markoffの定理から $\beta$ の最良線形不偏推定量は、残差平方和 $S_e$ を最小とする $\beta$ の不偏推定量 $\hat{\beta}$ である。残差平方和 $S_e$ は、

$$\begin{aligned}
 S_e &= e^T \cdot e = (y - X \cdot \beta)^T (y - X \cdot \beta) \\
 &= (y^T - \beta^T \cdot X^T) (y - X \cdot \beta) \\
 &= y^T y - y^T X \beta - \beta^T X^T y + \beta^T \cdot X^T \cdot X \cdot \beta \\
 &\dots\dots\dots 03
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial S_e}{\partial \beta} &= -X^T y - X^T y + 2 X^T X \beta \\
 &= -2 X^T y + 2 X^T X \beta = 0 \quad \dots\dots\dots 04 \\
 \therefore X^T \cdot X \cdot \beta &= X^T y \quad \dots\dots\dots 05 \\
 \text{05式を満足する}\beta &\text{を}\hat{\beta}\text{とおけば} \\
 \hat{\beta} &= (X^T X)^{-1} \cdot X^T \cdot y \\
 &= S^{-1} \cdot X^T \cdot y \quad \dots\dots\dots 06
 \end{aligned}$$

ただし、 $S = X^T \cdot X$ であり、積和平方和マトリクスを示す。

以上から、回帰分析ステップ405では、06式に従って未知母数ベクトル $\hat{\beta}$ を計算する。

第3図(A)～(E)は、上記した実施例を実運転中のボイラに適用して母数ベクトル $\hat{\beta}$ を求め、この $\hat{\beta}$ を(9)式へ代入して求めた計算値と実測値を比較したものである。NOxは平常運用値を100%その他は規制値を100%として正規化して表

ここで、 $GIL$ は最低注入率

PG, GMの各注入率は、第5図から求める。 $GI$ 率が最低注入率 $GIL$ 以上すなわち混合ガス系の調整が活かされた運転モードにある時、排ガス組成(たとえばNOx濃度)を調整するための操作盤は次の手順で求める。まず、 $GI$ 率の初期値として、最低値 $GIL$ を設定する(ステップ503)。(排ガス組成を目標値に達成できればボイラ効率の観点から $GI$ 率は小さい方がよい。)次に、第6図の特性値を用いて発電出力と $GI$ 率からGMFDを求める(ステップ504)。これはGMFDの特性により決まるもので、あらかじめ測定しておく。次に、GM/PG比の初期値を設定する(ステップ505)。

$$GM/PG = GM \text{ 注入率} / PG \text{ 注入率} \quad \dots\dots\dots 07$$

07, 08式からGMD, PGDを計算する(ステップ506)状態予測ステップ507では燃焼状態予測器19であらかじめ求められた母数ベクトル $\hat{\beta}$ を用いて、(9)式に従って排ガス組成(NOx, CO, OPの各濃度)及びスプレー水量を計算す

示したいずれもバラツキの大きい燃焼プロセスとしては良く一致しており、本実施例による統計的数学モデルで運転操作の前に排ガス組成及び蒸気温度の上昇を防ぐためのスプレー水量を予測できることが分かる。

第4図は本発明になる燃焼制御装置18における混合ガス調整器の一実施例を示すフロー図である。発電出力204が低い時には、一般にNOx濃度は低くなりまた総量も減少するので混合ガス調整不用のコメントをCRT(Cathode Ray Tube)に表示する。高負荷運転中において、下記の手順で動作する。

ステップ501で高負荷運転か否かを判定し  
GI率調整判定ステップ502ではGI(Gas Insert)率を07式で求めた後、0809式に従って、処理内容を判定する。

$$\begin{aligned}
 GI &= PG \text{ 注入率} + GM \text{ 注入率} \quad \dots\dots\dots 07 \\
 GI &\geq GIL : \text{操作量の演算} \quad \dots\dots\dots 08 \\
 GI &< GIL : \text{混合ガス調整不可のコメント表示} \quad \dots\dots\dots 09
 \end{aligned}$$

る。ただし(9)式中の $e$ は零とおく。

NOxが目標値以下(ステップ508)になれば、GMFD, GM/PG比, CO, OP濃度, スプレー水量をCRTに表示する。目標値を達成できなければ、GM/PG比及び $GI$ 率を更新する(ステップ511, 512)。操作範囲内で目標値を達成できなければ、(ステップ509, 510)NOx目標値変更(ステップ515)のコメントをCRTに表示するなどの実施の態様が考えられる。

またステップ501で高負荷運転か否かの判定を行ない高負荷運転でなければ混合ガス調整不要となる。またステップ508で判定した結果NOxが目標値を満たしている場合にはGMFD又はGM/PG比、その他の値を出力(またはCRT表示)する。またステップ502で $GI$ 率調整不可と判定されたときは、混合ガス調整不可を表示する。

以上述べたように本実施例によれば、運転員はNOx目標値を指定すれば、その目標を達成する

に必要な操作内容をただちにCRT画面（または他の表示あるいは出力装置）から読みとることができる。

本実施例では、操作内容を運転員に知らせ、最終判断を人間に委ねる方法を探っているが、操作端と直接に結合して自動制御ループを構成して、さらに操作を簡便にすることも可能である。

自動制御ループを構成する場合、状態予測507において、CO、ばいじんの予測計算値がいずれか一方でも規定値あるいはそれを超えたとき、NOx値が目標に達成しなくても処理を終了して操作量を出力するものとする。

またNOx減少指令が与えられたとき、ダンパ開度制御でどこまで減少可能かを表示せしめ、もしダンパ開度のみでNOx指令値が満足されない場合は出力自体を制御（制限）する必要がある旨の表示をあわせておこないオペレータに適切な情報を提供することも可能である。

本発明によれば、光化学スモッグ注意報発令時のような緊急的な対応が要請された場合に、目標

値を与えれば自動的に操作内容を決定あるいは操作でき、運転対応の迅速化、省力化、的確化がはかれる。

図面の簡単な説明

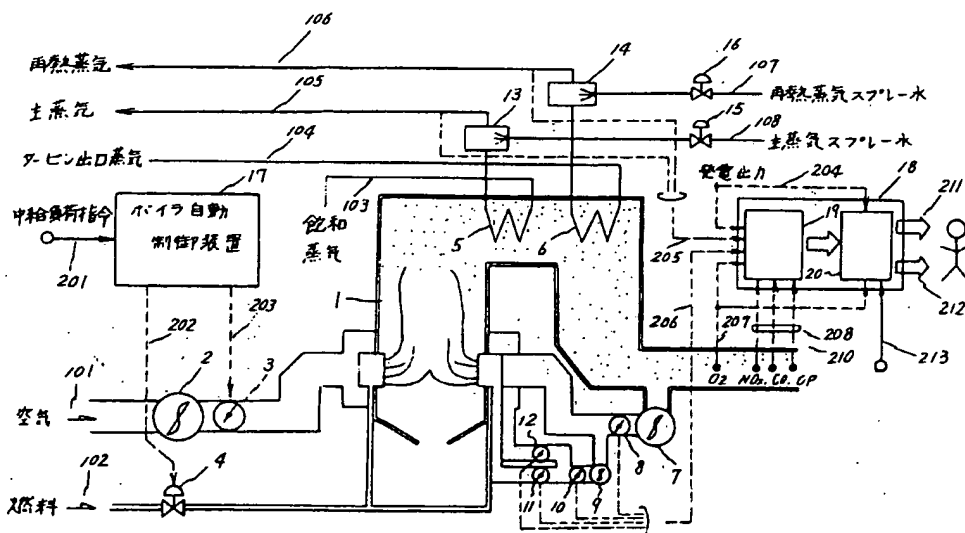
第1図は、本発明の一実施例の構成を、第2図は、上記実施例の動作フロー（その1）を、第3図は、上記実施例の効果をも、第4図は、上記実施例の動作フロー（その2）を、第5図は、ダンパ開度特性（その1）を、第6図は、ダンパ開度特性（その2）を、それぞれ示す。

1…ボイラ、18…燃焼制御装置、19…燃焼状態予測器、20…混合ガス調整器、101…空気、102…燃料、103…飽和蒸気、104…タービン出口蒸気、107…再熱蒸気スプレー水。

代理人 弁理士 高橋明夫

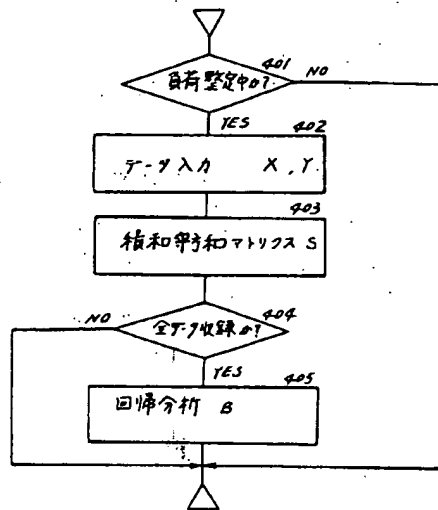


第 1 図

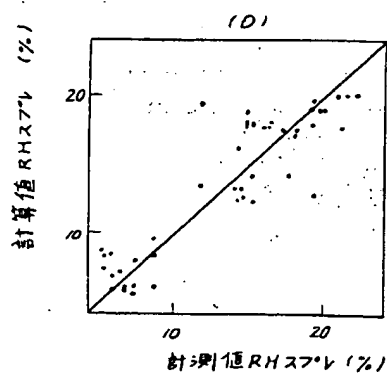
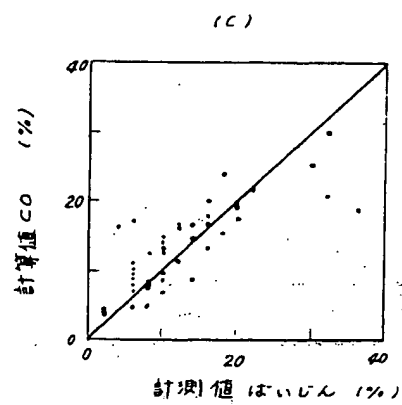


第 3 図

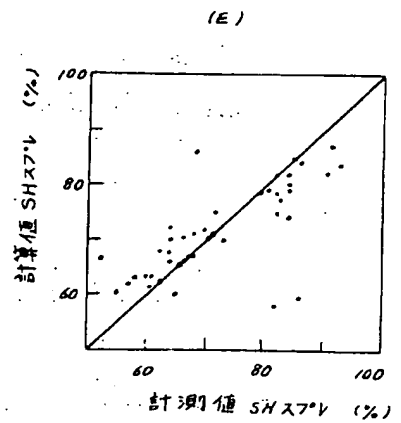
第 2 図



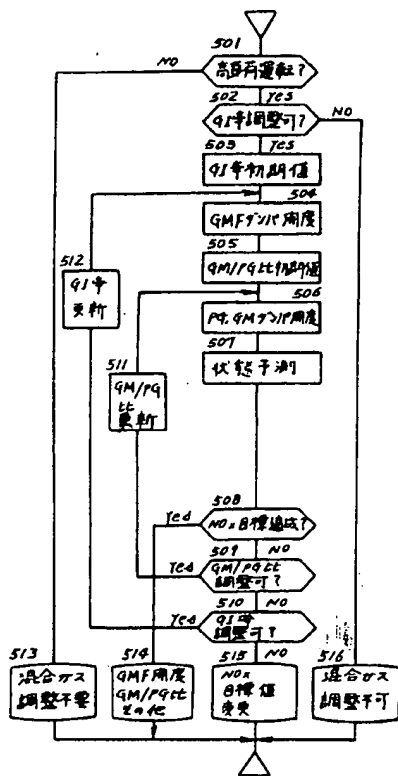
第 3 図



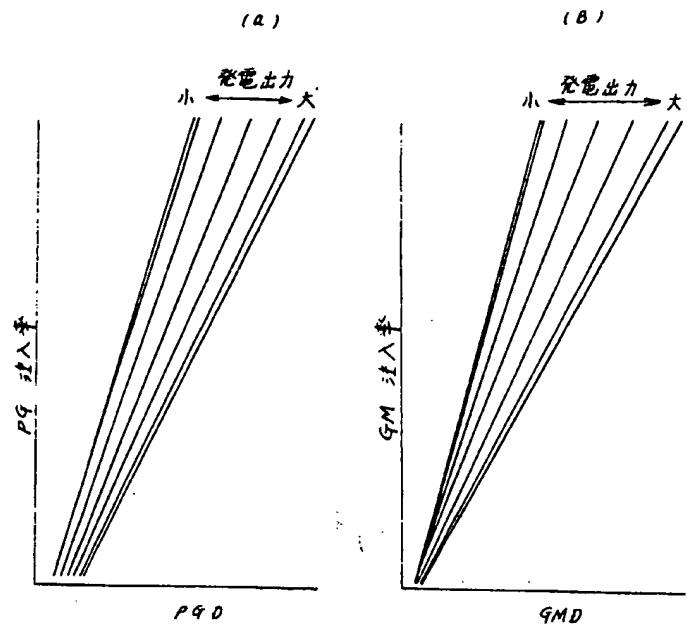
第 3 図



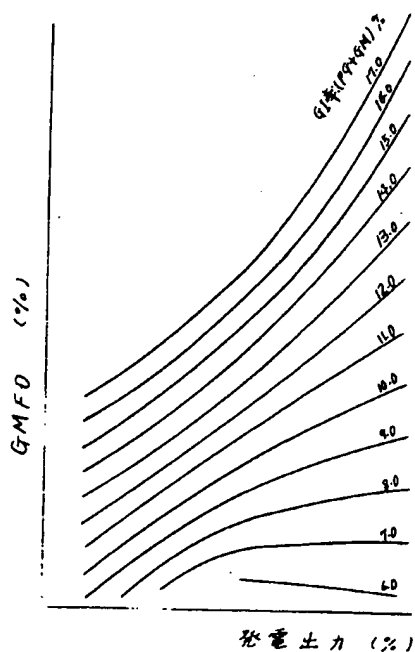
第 4 図



第 5 図



第 6 図



第 1 頁の続き

- ⑫発 明 者 諸岡泰男  
 日立市幸町 3 丁目 1 番 1 号株式  
 会社日立製作所日立研究所内
- ⑬発 明 者 飯田宏  
 日立市大みか町 5 丁目 2 番 1 号  
 株式会社日立製作所大みか工場  
 内
- ⑭出 願 人 財団法人電力中央研究所  
 東京都千代田区大手町一丁目 6  
 番 1 号
- ⑮出 願 人 株式会社日立製作所  
 東京都千代田区丸の内一丁目 5  
 番 1 号

PAT-NO: JP357196015A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 57196015 A

TITLE: MONITERING AND CONTROLLING METHOD OF  
COMBUSTION  
CONDITION IN BOILER

PUBN-DATE: December 1, 1982

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

FUJIMOTO, TAKEETSU

MOCHIZUKI, KUNIHARU

SUZUKI, JIRO

SEMA, TORU

KURIHARA, NOBUO

MOROOKA, YASUO

IIDA, HIROSHI

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

COUNTRY

TOKYO ELECTRIC POWER CO INC:THE N/A

CENTRAL RES INST OF ELECTRIC POWER IND N/A

HITACHI LTD N/A

APPL-NO: JP56080932

APPL-DATE: May 29, 1981

INT-CL (IPC): F23N005/00

US-CL-CURRENT: 431/76

ABSTRACT:

PURPOSE: To provide an operation under a decreased volume of NOX by a method wherein a signal relating to the feeding volume of exhaust gas for each of a plurality of dampers for adjusting the feeding volume of the exhaust gas into the furnace of a boiler is calculated in reference to the calculation model equation.

CONSTITUTION: A combustion control device 18 is composed of a combustion condition forecasting unit 19 and a mixture gas adjuster unit 20. The combustion condition forecasting unit 19 may receive an output of power generation 204, temperature of steam 205, a signal showing a degree of opening of damper for mixture gas 206, and a signal on composition of exhaust gas (O<sub>2</sub> gas signal 207, signal of concentration of NO<sub>x</sub>, signal of concentration of CO 209, and a signal of concentration of OP 210) and provide a representative model of a relation between the composition of the exhaust gas and each of the quantity of states. And each of the data during an operation is calculated in reference to the model and the air damper 3, mixture gas damper 10, primary gas damper 11 and mixture gas damper 12 are controlled in such a way as the calculated composition of the exhaust gas may meet the required value.

COPYRIGHT: (C)1982,JPO&Japio